

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-141700

(43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.Cl.

G01N 27/72  
G01R 33/035

(21)Application number : 11-320831

(71)Applicant : OSAKA GAS CO LTD

(22)Date of filing : 11.11.1999

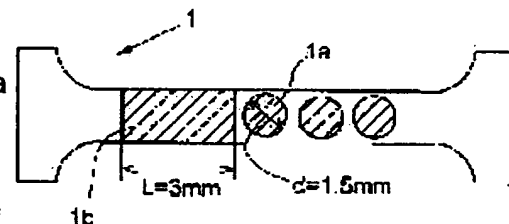
(72)Inventor : DOI SHOJI  
YASUMATSU KENRO  
TAMURA ITSURO  
FUJITA SATOSHI  
NAGASHIMA TAKESHI

## (54) NONDESTRUCTIVE INSPECTION METHOD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a nondestructive inspection method whereby a creep degradation state of a turbine blade can be surely grasped by measuring an initial magnetic susceptibility.

**SOLUTION:** A dumbbell-shaped creep test piece 1 is formed from a turbine blade. A sample 1a including a plurality of crystal grains is cut out from the sample piece. The sample 1a is maintained in a state of not higher than a Curie point. Magnetic characteristics of the sample are measured by a SQUID magnetic susceptibility meter. A degree of degradation of the turbine blade is evaluated to be large when the initial magnetic susceptibility as one of the magnetic characteristics is large.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-141700

(P2001-141700A)

(43) 公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 1 N 27/72		G 0 1 N 27/72	2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/035	Z A A	G 0 1 R 33/035	Z A A 2 G 0 5 3

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-320831

(22) 出願日 平成11年11月11日 (1999. 11. 11)

(71) 出願人 000000284

大阪瓦斯株式会社

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

(72) 発明者 土肥 祥司

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

大阪瓦斯株式会社内

(72) 発明者 安松 建郎

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

大阪瓦斯株式会社内

(74) 代理人 100107308

弁理士 北村 修一郎 (外1名)

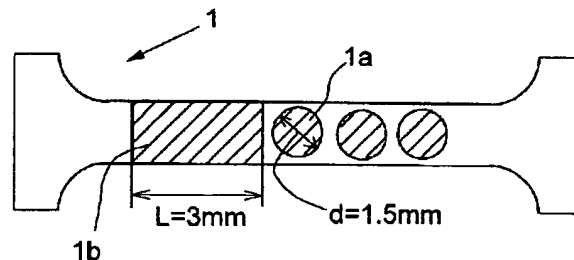
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非破壊検査方法

(57) 【要約】

【課題】 タービンプレードのクリープ劣化状態を、初期磁化率の測定によつて的確に把握できる非破壊検出方法を提供する点にある。

【解決手段】 タービンプレードからダンベル型クリープ試験片1を作成するとともに、その試験片より複数の結晶粒を含む試料1aを切り出し、試料1aをキュウリ一点以下の状態に維持するとともにその磁気特性をS Q U I D帯磁率計によつて測定し、磁気特性の一つである初期磁化率が大きければ、タービンプレードの劣化度が大きであると評価する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検体におけるキュウリー点以下の状態での磁気特性を測定し、測定した磁気特性に基いて前記被検体のクリープ劣化度もしくは疲労劣化の度合いを評価する非破壊検査方法。

【請求項2】 被検体に対して消磁作用を施すとともに測定対象箇所を磁化し、磁気検出手段により磁気特性を測定し、測定した磁気特性に基いて前記被検体の劣化度を評価する非破壊検査方法。

【請求項3】 前記磁気特性が、初期磁化率、残留磁化、保磁力、飽和磁化のいずれか一つである請求項1又は2記載の非破壊検査方法。

【請求項4】 前記測定対象となる磁気特性が、前記被検体に対して低印加磁界を作用させた場合の磁化率と高印加磁界を作用させた場合の磁化率との差、または、前記被検体に含まれる強磁性体部分の磁化率と強磁性体部分の前記被検体全体に対する体積分率とを掛け合わせた数値である請求項1又は2記載の非破壊検査方法。

【請求項5】 被検体に発生する歪みと稼動時間との関連を示すデータと、前記被検体に発生する歪みと被検体の磁気特性との関連を示すデータとを相関付けて、前記被検体の磁気特性の測定値より前記被検体の寿命を予測する非破壊検査方法。

【請求項6】 前記被検体の磁気特性を検出する手段が、局所的に磁場変化を検出できるピックアップコイルを備えたSQUID帯磁率計又は高感度磁気センサーである請求項1～5のうちのいずれか一つに記載の非破壊検査方法。

【請求項7】 前記被検体を磁化する磁化手段が、局所的に磁化できる励磁コイルである請求項1～5のうちのいずれか一つに記載の非破壊検査方法。

【請求項8】 前記被検体が、母材となる磁性体の表面に非磁性体の保護皮膜を有するものである請求項1～7のうちのいずれか一つに記載の非破壊検査方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばガスタービンの動翼等、高温下で回転駆動される部材のクリープ劣化度等を調べる非破壊検査方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ガスタービンの動翼等の被検体は、高温の燃焼ガスとの接触による高温、および高速で回転することによる応力を受けるためクリープ劣化度あるいは疲労劣化度が問題となる。このクリープ劣化が進行すると動翼にクラックが発生して破断に至ることもある。又、ガスタービンの動翼には高価なNi基超合金が使用されることが普通であるが、メンテナンス費用を削減するためには、この高価な動翼をクリープ寿命寸前まで、使用することが望まれる。このため、クリープ劣化の度合いを診断し、適切な時期に交換する必要があるが、従来

は、検査員の目視による外観検査が行われているのみであり、大きな安全率をもって一定時間毎に一律に新品と交換されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これでは、十分な対応とは言えない面があるので、クリープ劣化度を定量的に評価する方法として、超音波の音速や減衰率の変化から診断する方法が検討されていたが、被検体の部位によるバラツキが大きく、有効にクリープ劣化度を捉えるには至っていない。

【0004】本発明の目的は、従来の方法を検討し、各種部材のクリープ劣化や疲労劣化の度合いの定量評価を行う非破壊検査方法を提案する点にある。

【0005】

【課題を解決するための手段】〔構成〕請求項1に係る発明による特徴構成は、被検体におけるキュウリー点以下の状態での磁気特性を測定し、測定した磁気特性に基いて前記被検体のクリープ劣化度あるいは疲労劣化度を評価する点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用〕本出願人らにおいては、部材のクリープ劣化度を非破壊的に検査する方法として、部材に施される磁気特性の違いを測定することによって、見出そうとする方法を確立した。つまり、図5、及び図14等を示すように、被検体としての機能部材の稼動時間、例えば、クリープ時間が長くなると磁気特性のうち初期磁化率が変化するものがあることを見出した。この磁気特性の変化度合いを測定することによって、被検体のクリープ時間等を想定することができる。

〔効果〕このように被検体の磁気特性の変化を捉えることによって、非破壊的にかつ被検体の経時的変化を捉えることができた。

【0006】〔構成〕請求項2に係る発明による特徴構成は、被検体に対して消磁作用を施すとともに測定対象箇所を磁化し、磁気検出手段により磁気特性を測定し、測定した磁気特性に基いて前記被検体の劣化度を評価する点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕ここでは、使用履歴等が異なる被検体に対して、まず、基準状態に設定する為に消磁を行う。次に、励磁コイルに電流を流してその消磁した被検体に帯磁作用を施す。その状態で、被検体における磁気特性の一つである残留磁気を磁気検出手段によって測定する。このような方法により測定すると、図14の棒グラフのように液体窒素下で測定した結果において、未使用状態（未クリープ状態）にあっては、殆ど残留磁気の内容は見られないが、使用時間が長くクリープ作用を受けているものでは、残留磁気が大きく表れていることが分かる。これによって、ある程度の使用時間と残留磁気との関係を掴むことができる。

【0007】〔構成〕請求項3に係る発明による特徴構

成は、請求項1又は2に係る発明による特徴構成において、前記磁気特性が、初期磁化率、残留磁化、保磁力、飽和磁化のいずれか一つである点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕つまり、被検体が磁性体であって、その磁性体が磁界により磁化されると、図2に示すように、磁化曲線に沿った磁気特性を示し、磁気特性の評価基準として初期磁化率以外に、保磁力、飽和磁化等を採用できることが分かり、これら保磁力等に基づいても被検体の劣化度を特定できる。

【0008】〔構成〕請求項4に係る発明による特徴構成は、請求項1～3のうちのいずれか一つに記載の発明による特徴構成において、前記測定対象となる磁気特性が、前記被検体に対して低印加磁界を作用させた場合の磁化率と高印加磁界を作用させた場合の磁化率との差、または、前記被検体に含まれる強磁性体部分の磁化率と強磁性体部分の前記被検体全体に対する体積分率とを掛け合わせた数値である前記被検体を磁化する磁化手段が、局所的に磁化できる励磁コイルである点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕ここでは、印加磁界の強さを変更させて作用させることによって、強磁性体部分の存在による被検体の劣化度を知ることのできる方法について記載する。＊

$$X_T = (X_F \times V_F + X_N \times V_N) / V_T \quad \dots\dots\dots (1)$$

磁化曲線の変曲点 $H_a$ よりも高印加磁界( $H \geq H_a$ )では被検体全体の磁気モーメントは強磁性体部分の飽和磁気モーメントと常磁性体部分の磁気モーメントの和である＊

$$M_{FS} + X_N \times V_N \times H \quad \dots\dots\dots (2)$$

磁化曲線の変曲点における磁気モーメントを例えば現場から得られたデータである図8から見積もると、 $4 \times 10^{-4} \times V_T$  テスラとなる。したがって、強磁性体部分の飽和磁気モーメントは常磁性体部分の磁気モーメントの存在(数2の第2項)を考慮すると $4 \times 10^{-4} \times V_T$  ★

$$X_T \times V_T \times H = M_{FS} + X_N \times V_N \times H \quad \dots\dots\dots (3)$$

と書ける。 $H = 4$  テスラでの被検体の磁気モーメントを同様に図8から見積もると、 $4 \times 10^{-3} \times V_T$  テスラとなる。したがって、 $H = 4$  テスラにおいては強磁性体部分の飽和磁気モーメントは、 $M_{FS} \leq 4 \times 10^{-3} \times V_T$  ☆

$$X_T = X_N \times V_N / V_T \quad \dots\dots\dots (4)$$

と書ける。すなわち、 $H = 4$  テスラにおける磁化を $H$ で除することにより得られる高印加磁界下での比磁化率 $X_T$ は、常磁性体部分の比磁化率 $X_N$ と常磁性体部分の体積分率 $V_N / V_T$ の積に等しい。この方法で実際に各被検体についての数3を用いて常磁性体部分の比磁化率 $X_N$ と常磁性体部分の体積分率 $V_N / V_T$ の積を求めると、クリープ時間による変化は小さく、 $8 \times 10^{-3}$ 程度の略一定値を探ることが分かる。数1の $X_T$ (低印加磁界)から数4の $X_T$ (高印加磁界)を差し引くと、

【数5】 $X_T$ (低印加磁界) -  $X_T$ (高印加磁界) =  $X_F \times V_F / V_T$  …………… (5) となり、以上の式を用い

＊一般的には、図6に示すように、磁化 $J$ と磁界の強さ $H$ との関係においては、強磁性体部分の磁化は一定の磁界の強さ $H$ を越えると飽和するのに対して、常磁性体部分においては、磁界の強さ $H$ と比例関係を維持する点において異なっている。したがって、強磁性体部分と常磁性体部分とを合わせた被検体全体においては、図6に示すように、磁化 $J$ は変曲点 $H_a$ を持った傾向を示す。上記した傾向を数式において確認してみる。

$V_T$  : 被検体全体の体積

10  $X_T$  : 被検体全体の比磁化率

$V_F$  : 強磁性体部分の体積

$X_F$  : 強磁性体部分の比磁化率

$V_N$  : 常磁性体部分の体積

$X_N$  : 常磁性体部分の比磁化率

$M_{FS}$  : 強磁性体部分の飽和磁気モーメント

$H$  : 外部印加磁界

上記比磁化率 $X_T$ は、磁化率 $X$ を真空の透磁率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ で規格化したものであり、磁化率 $X$ の絶対値を使用する場合に比べて感覚的に掴みやすいので、以後使用する。被検体全体の比磁化率 $X_T$ は印加磁界 $H$ が十分小さい場合には、

【数1】

※る。すなわち、

【数2】

★テスラよりも小さいことになる。一方、印加磁界 $H$ が十分に大きい場合には被検体の磁気モーメントと比磁化率 $X_T$ の関係は、

【数3】

☆スラであるので、 $M_{FS} \ll X_N \times V_N \times H$ である。よって、数3を変形して

【数4】

40 れば強磁性体部分の比磁化率 $X_F$ と体積分率 $V_F / V_T$ の積を求められる。これは被検体中の強磁性体の性質がクリープ時間とともにどのように変化するかを調べるのに用いることができる。例えば、数5の左辺を計算した数値が、非常に小さく出た場合には、右辺がゼロと言えるので、 $X_F$ 或いは $V_F$ がゼロであるわけだから、強磁性体部分は存在しないことになる。各被検体について数5を用いて被検体中の強磁性体部分の比磁化率 $X_F$ と体積分率 $V_F / V_T$ の積を求めた結果を示したものが図7であり、前記した図4に示す結果と同様の結果が見て採れる。したがって、低印加磁界をかけた場合の比磁化率 $X$

$r$ と高印加磁界をかけた場合の比磁化率 $X_r$ との差を求めることで、または、強磁性体部分の比磁化率 $X_r$ と体積分率 $V_r/V_t$ の積を求めることによって、初期磁化率によって被検体の劣化度合いを検出したと同様に被検体の劣化度合いを知ることができることが分かった。尚、高印加磁界での比磁化率 $X_r$ については図9の磁化を印加磁界4テスラで除して求めた。ここで、後記するタービンプレード(MAR-M-246)の場合においては、低印加磁界の範囲は、0~0.01テスラに、高印加磁界の範囲は、1テスラ以上とすることが出来る。

【0009】〔構成〕請求項5に係る発明による特徴構成は、被検体に発生する歪みと稼動時間との関連を示すデータと、前記被検体に発生する歪みと被検体の磁気特性との関連を示すデータとを相関付けて、前記被検体の磁気特性の測定値より前記被検体の寿命を予測する点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕図12に示すように、稼動時間(クリープ時間)と歪み(クリープ歪み)との関係について、クリープ試験を行うことによって、被検体の数だけでのデータが得られる。しかし、いずれの被検体においても、クリープ歪が2%を超えると、クリープ歪速度が急激に増加することが判る。一方、図15に示すように、異なるクリープ歪みを生じた被検体の磁気特性の一つである残留磁気を測定すると、歪と残留磁化とが比例関係を生じているデータが得られている。これら二つのデータを歪みによって相関付けると、残留磁化と稼動時間(図16の場合はクリープ時間)との関係を得ることができ、図16(イ)に示すように、残留磁化と歪みとの相関図より歪み(点b)を求めることができ、歪みがわかると、図16(ロ)に示すように、歪みとクリープとの相関図よりクリープ時間(点c)を想定することができる。つまり、残留磁気を測定することによって、現時点での稼動時間を想定でき、歪みが限度になるまでの寿命を推し量ることが可能になる。ここで、寿命は、歪みが限度になるまでの時間から推定されたクリープ時間を引くことによって得られる。

【0010】〔構成〕請求項6に係る発明による特徴構成は、請求項1に係る発明による特徴構成において、前記被検体の磁気特性を検出する手段が、局所的に磁場変化を検出できるピックアップコイルを備えたSQUID帯磁率計又は高感度磁気センサーである点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用〕つまり、被検体にあつては、その被検体全体に亘って劣化が進んでいるわけではなく、被検体の強度的に弱い部分に劣化が集中することが十分考えられる。そこで、磁気特性を検出する手段が局所的に磁場変化を検出できるピックアップコイルを備えたものを採用することによって、局所的に起こっている磁気特性であっても捉えることができ、劣化箇所の特定等を迅速に行うことができる。

〔効果〕これによって、被検体全体には起こりにくい局所的に劣化を起こし易い部材に対して的確に劣化を捉えることができ、迅速な対応が可能になる。

【0011】〔構成〕請求項7に係る発明による特徴構成は、前記被検体を磁化する磁化手段が、局所的に磁化できる励磁コイルである請求項1~7のうちのいずれか一つに記載の発明による特徴構成において、前記被検体が、母材となる磁性体の表面に非磁性体の保護皮膜を有するものである点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕つまり、局所的に励磁コイルによって磁化できるので、被検体の劣化し易い部分に対して集中して磁化して、他の部分からのノイズの発生を抑制でき、磁化部分からの信号の正確さを向上させて、劣化部分の特定を迅速に行える。請求項6で記載した局所的に検出できるセンサと組み合わせて使用すると、効果の高い機能を発揮するものとなる。

【0012】〔構成〕請求項8に係る発明による特徴構成は、請求項1~7のうちのいずれか一つに記載の発明による特徴構成において、前記被検体が、母材となる磁性体の表面に非磁性体の保護皮膜を有するものである点にあり、その作用、及び、効果は次の通りである。

〔作用効果〕請求項1~7までに記載した被検体の劣化度を検出する手段として磁気特性を利用した検出手段を用いているので、被検体の表面が非磁性体の保護皮膜で覆われていても母材の特性を保護皮膜の影響を受けずに捉えることができ、このような保護皮膜を有する被検体に対しても劣化度を確実に捉えることができるのである。

【0013】

〔発明の実施の形態〕ここでは、材料の劣化度を非接触式に検出する方法として、被検体としてのタービンプレードのクリープ劣化を捉えることにする。タービンプレードよりワイヤーカット放電加工装置を用いて図1に示すダンベル型試験片1を切り出して、クリープ試験を行い、このクリープ試験を行った後に図1に示す磁気特性用の試料1aを切り出して次のような磁気特性の測定を行う。

【0014】ここに、タービンプレードの材質としては、次のような特性を持っている。つまり、MAR-M246(C:0.15、Cr:9、Co:10、Mo:2.5、W:10、Al:5.5、Ti:1.5、Mn:0.5、Si:0.1、B:0.02、Ta:1.5、Zr:0.05wt%)をタービンプレードとして使用する。タービンプレードは3平方ミリあたり100個位の結晶粒を持っているので、測定のバラツキを抑える為に、少なくとも数個程度の結晶粒を持つように試料を作成する。

【0015】(第1実施形態について)この第1実施形態においては、磁気特性として磁化率を選定し、この磁

化率を算出することによって、材料の劣化度を知ることができる方法について説明する。磁化率を測定する為の試料は、図1に示すように、ダンベル型試験片1より切り出した円盤状の試料1aのものを用いる。円盤状の試料1aを切り出した残りの部分より短冊状の試料1bを取り出し、電顕観察用試料として用いられる。尚、上記のように試料を切り出した過程において、試料の表面に酸化物層及び変質層ができており、これらが母材の磁気特性に影響を与えることがある。そこで、機械研磨や電解研磨等を行って、酸化物層等を取り除いている。

【0016】ここで、磁化率 $X$ とは、印加磁界 $H$ の強さを受けた場合の磁性体の磁化される強さ（磁化） $J$ の比率を表すものであり、

$$【数6】X = J / H$$

で表示され、磁化は磁気モーメント $M$ 、試料の体積を $V$ とすることによって、

$$【数7】J = M / V$$

で表示される。そして、後記するSQUID帯磁率計2を用いて、印加磁界を変化させた状態での磁化 $J$ を求めて、それをプロットした図2に示すような磁化曲線を求め、図2における初期磁化曲線OABCの点Oにおける傾きが、初期磁化率を与える。

【0017】次に、SQUID帯磁率計2について説明する。図3に示すように、SQUID帯磁率計2は、液体ヘリウム3を収納するケース4内に液体ヘリウム3の温度で作動する超伝導マグネット5、5を備え、超伝導マグネット5、5による磁界内に差動接続された複数個のピックアップコイル6、6を上下方向にわたって配置してあり、さらに、ピックアップコイル6、6を貫通する状態で試料挿入空間7を形成して、構成してある。試料挿入空間7内には、非磁性体で形成された試料ホルダ9が設けてあり、駆動装置8によって上下駆動される。一方、ピックアップコイル6、6にはコイルに発生する起電流を検出回路に送るSQUID素子10を設けてあり、SQUID素子10はジョセフソン結合を含むものである。ピックアップコイル6、6は差動接続されており、超伝導マグネット5、5による磁界が印加されると、上下のコイル6、6に起電流が発生するが、その起電流同志は互いに打ち消し合う。したがって、上下のコイル6、6を貫く磁界が等しい場合には、起電流が相殺されて、SQUID素子10では電流の検出はされない。これにより、試料1aがない場合或いは試料1aに磁化が生じない場合には、電流検出はゼロである。

【0018】ここで、試料ホルダ9に試料を取り付け、試料挿入空間7に投入すると、超伝導マグネット5、5によって試料は磁化される。試料ホルダ9を上下動させると、磁化された試料がコイル6、6を横切る為に、コイル6、6には試料の磁化と体積とからなる磁気モーメントに比例する磁束変化に起因する起電力が発生し、S

QUID素子10で検出される。SQUID素子10で検出された起電力は電圧として検出回路11に送られ、データとして蓄積される。

【0019】試料を試料ホルダ9に装着する形態は次のようになる。図4に示すように、サランラップ12で包んだ試料1aを短く切った樹脂パイプ13内に入れ、この試料1aを入れた樹脂パイプ13をさらに長い外側の樹脂パイプ14内に挿入する。外側の樹脂パイプ14自体は、反磁性磁化を持つが、外側の樹脂パイプ14は磁性上一様であり、上下動ストロークに比べて十分に長いものであるので、測定に与える磁気的な影響は無視できる程度である。

【0020】前記したように、複数のダンベル型試験片1にクリープ試験を施し、このクリープ試験片1より複数個の試料1aを採取し、これら試料1aに対して初期磁化率 $X$ の測定を試みた。施したクリープ試験の条件は、温度が約1000°C、引張公称応力が1.177×10<sup>8</sup>Paである。この条件の場合には温度による加速試験となっており、平均的には370時間程で破断に至るので、クリープ時間が所望の時間に達してから試験機より取り出した。ここで、測定を行う前に消磁処理を施す必要がある。消磁処理を行うのは、強磁性体試料にあっては、外部から印加された磁界の履歴によって残留磁化が残り、このような場合には、測定した磁化曲線に誤差を生ずる可能性がある。そこで、次のような消磁処理を施すが、採用した消磁方法は熱消磁と称するものである。つまり、消磁処理はゼロ磁界中で行われ、試料1aをキュウリー温度以上の150Kに昇温し、常磁性状態にする。印加磁界はゼロであるので、磁化はゼロである。次に、印加磁界をゼロのまま、キュウリー温度以下に冷却し強磁性状態にする。実際には、測定温度となる10Kに冷却した。ここまでの処理で、印加磁界ゼロで磁化ゼロになり、試料1aは強磁性状態で消磁された状態になる。

【0021】初期磁化率 $X$ を測定する場合の印加磁界の掛け方は、まず、 $-7 \times 10^{-3}$ テスラから $7 \times 10^{-3}$ テスラまで $1 \times 10^{-3}$ テスラ刻みで磁界を掛けていくやり方を採用した。この試料を試料温度10Kで磁化曲線を得た後、その磁化曲線より初期磁化率 $X$ を求めた結果が図5に示すものであり、クリープ時間300時間を越えるものに、初期磁化率の突出するものが見受けられた。尚、図5においては初期磁化率を真空透磁率で除した初期比磁化率で表示してある。この検出結果の分析においては、試料内に強磁性体部分が現出し、強磁性体部分が磁化率を上昇させていると判断したが、この点については請求項4に対する作用効果の項で述べた。但し、他の試料においてはクリープ時間に関係なく初期磁化率 $X$ は略一定で低い数値であるので、これらの試料については、常磁性体のみで形成されていたと考えられる。クリープ時間が300時間を越える試料であっても、初期磁

化率が大きく異なる結果となったのは、タービンプレード自体が均一の特性を持ったものではなく、試料として取り出した取り出し先の組織が異なっている為に、起こったものと考えられる。以上説明したように、初期磁化率とクリープ時間とに関連があり、初期磁化率が大きくなると、クリープ時間が長いものであると評価することができる場合があることが分かった。上記したものはクリープ劣化をクリープ時間によってあらわしたものであるが、クリープ劣化をクリープ歪みであらわしたものが図10に示す結果であり、クリープ劣化度が拡大する歪みが大きくなる場合には、磁化率が大きくなるということがいえ、磁化率を測定することによって、クリープ劣化度を想定することができることが分かる。尚、タービンプレード自体はNiCoCrAlY等の溶射皮膜で覆われているが、この皮膜が非磁性であり、かつ、非破壊的検出手段がSQUID帯磁率計であるので、皮膜に影響を受けずに基材の磁気特性を捕らえることができる。

〔第2実施形態について〕この第2実施形態においては、磁気特性として残留磁気を測定することによって、材料の劣化度を知ることができる方法について説明する。ダンベル型試験片を複数本用意し、これに対して温度982℃、圧力1.17×10<sup>8</sup>Paでクリープ試験を行い、その結果が次のようなものである。図12に示すように、複数本あるなかの代表的なものを表示すると、いずれも、クリープ歪みが2%を越えるまでは、定常歪み(第2次歪み)の段階を維持しており、2%を越えると加速歪み(第3次歪み)段階に移行することが読み取れる。以上のようなクリープ歪みを受けた試験片に対して、残留磁気を測定して、クリープ時間の割り出しを行い寿命の想定を行う。

〔0022〕残留磁気の測定方法について説明する。

① 前記したクリープ試験を受けた試験片1に対して、図13に示すように、消磁を行う。つまり、磁化コイル15の空心中に試験片1を置き、交流磁界を印加して、この交流磁界をスライダック16により徐々に零にして、消磁段階を終える。

② 今度は、磁化コイル17に対して発熱が過大とならないように直流電流を通電して、磁化を行う。

③ その磁化した試験片1を磁気シールドされたステージ18上に載置し、このステージ18を水平の一方に動かしながら、ステージ18の上方のSQUIDグラジオメータ19で試験片1より発生する磁界を測定する。

〔0023〕上記した測定方法によって得られる測定データは、図11に示すように、鉛直方向において符号が逆の二つのピーク値dとして現れる。この二つのピーク値dの絶対値を足しあわせ半分にした値が残留磁界を示している。残留磁界より単位体積当たりの磁化、すなわち残留磁化を算出する。試料の残留磁化が発生する磁界(残留磁界)をHとすると、磁界Hは試料の残留磁気モーメントMに比例した数値としてあらわされ、磁界Hを体

積で除して残留磁化を求めることができる。以上のようにして測定したクリープ試験片1の結果と、未使用タービンプレードより切り出した未クリープ試験片との残留磁化を表示したのが、図14である。図14に示す結果は、試験片1を液体窒素下で測定したものである。この結果によると、クリープ試験片の残留磁化が大きく、未クリープ試験片では殆ど残留磁化が検出できないことが分かる。

〔0024〕上記した残留磁気を測定する過程で、クリープ歪みと残留磁化との関係データが得られている。図15に示すように、クリープ歪みと残留磁化とは略比例関係を呈することが分かる。このクリープ歪みと残留磁化との関係を示すデータと、図12より抽出した特定試料についてのデータとを相関させてみると、作用の項でも説明したようにクリープ歪みを仲立ちとして、残留磁化を知ることにより、クリープ時間を想定でき、併せて、クリープ強さの基準をクリープ歪みに採れば、そのクリープ歪みが採りうる限界より、クリープ限界としての寿命が想定できる。つまり、図16(イ)(ロ)に示すように、残留磁化が点aで示す数値であれば、そのときの歪みが点bで示され、歪みが想定されれば図13における点cよりクリープ時間が想定できることになる。ここでは、クリープ歪みと残留磁化との関係データを使用してクリープ劣化度としてのクリープ時間を想定することについて示したが、第1実施形態の項で示したように、クリープ歪みと磁化率との関係を示す図10と、この第2実施形態で使用した図5に示すクリープ歪みとクリープ時間との関係データとを組み合わせ、磁化率を知ることによって、クリープ時間を想定できることがわかる。

〔0025〕(第3実施形態について)第3実施形態としては、クリープ劣化度を知る方法として磁気特性の一つとしての磁化率の差を求める方法があるが、この点については、請求項4に対応した作用効果の項において詳述したので、ここでは説明を省略する。

〔0026〕〔別実施例〕

(1) タービンプレードの劣化度を検出する磁気特性として、保磁力、又は、飽和磁化を採用してもよい。

(2) タービンプレードの劣化度を検出する手段としては、SQUID帯磁率計以外に局所的な検出が可能であれば、高感度磁気センサーであってもよい。

(3) 第2実施形態においては、残留磁気を測定することによって、寿命を想定できる点について述べたが、残留磁気以外の磁気特性データと既知の使用データとを対比することによって、例えば、使用温度、使用時間、印可応力等の使用履歴を知ることができる。

(4) 被検体の劣化度を知る為に、疲労劣化を対象としてもよい。

〔図面の簡単な説明〕

〔図1〕ダンベル型試験片を示す図

【図2】磁化曲線を示す図

【図3】SQUID帯磁率計の概略構成図

【図4】磁気特性を調べる試験片の取り付け形態を示す図

【図5】初期磁化率とクリープ時間との関係を示す図

【図6】強磁性体部分と常磁性体部分との磁化特性を示す図

【図7】強磁性体部分の比磁化率と体積分率の積とクリープ時間との関係を示す図

【図8】強印加磁界と磁化との関係を示す図

【図9】磁化とクリープ時間との関係を示す図

【図10】歪みと磁化との関係を示す図

【図 1 1】鉛直方向磁界強さの変化を水平距離の関数と\*

\* して示す図

【図12】クリープ歪みとクリープ時間との関係を示す図

【図 13】残留磁化を測定する方法を行程に従って示す  
図

【図14】クリープ試験片毎の残留磁化を示す図

【図15】歪みと残留磁化とを示す図

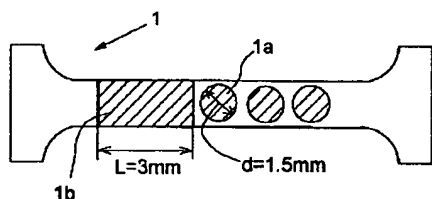
【図16】図12と図15とに基づいて残留磁化を知ることによって、クリープ劣化度を知ることができる図

10 【符号の説明】

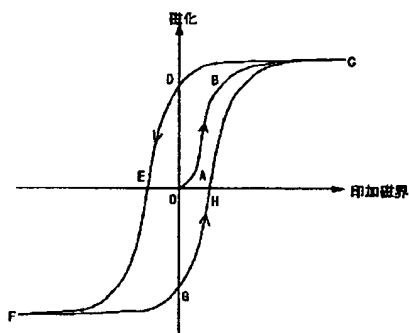
1 a 試料

## 2 SQUID帶磁率計

【圖 1】

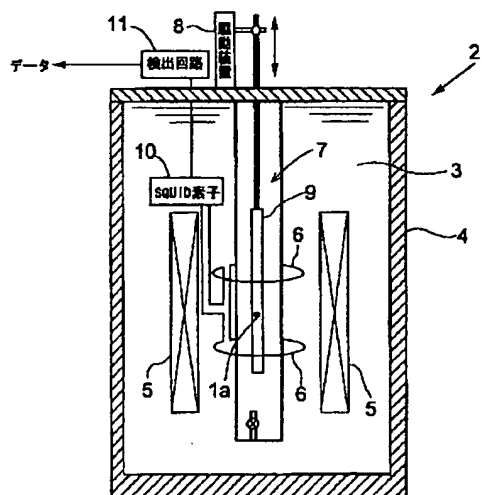


【図2】

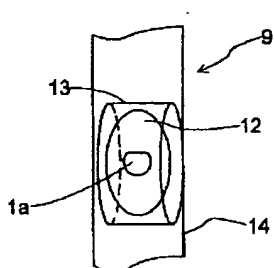


磁気パラメータ	
初期磁化率	初期磁化曲線OABCのO点における傾き
保磁力	OE (OH)
残留磁化	OD (OG)
飽和磁化	飽和状態C点における磁化の大きさ
最大微分磁化率	H点における傾き
ヒステリシス損失	ヒステリシスループODEFGHCで囲まれた領域の面積と等しい値を持つ。 エネルギーの発生を持つ。

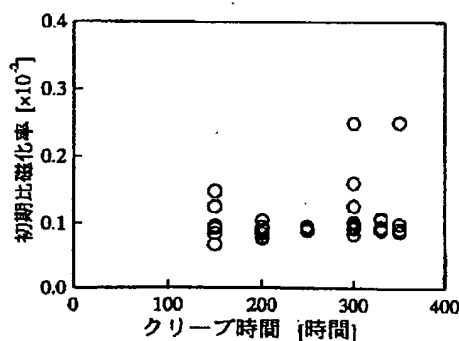
【圖3】



【圖 4】

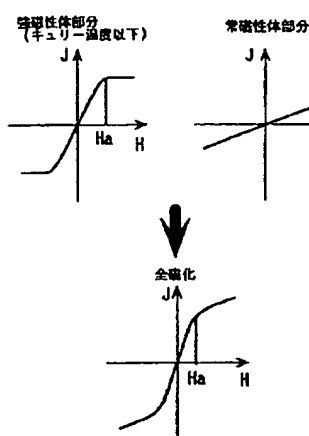


【圖5】

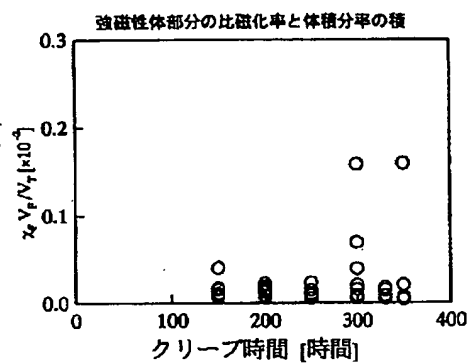




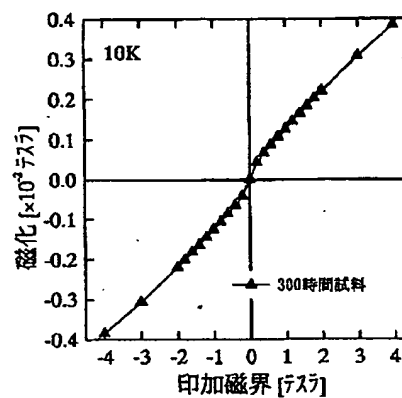
【図6】



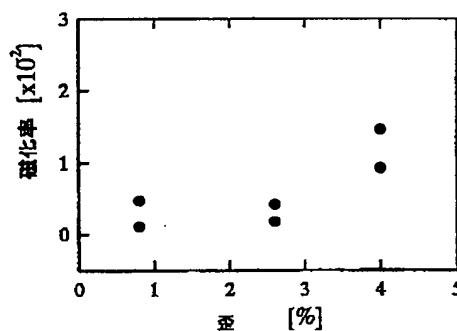
【図7】



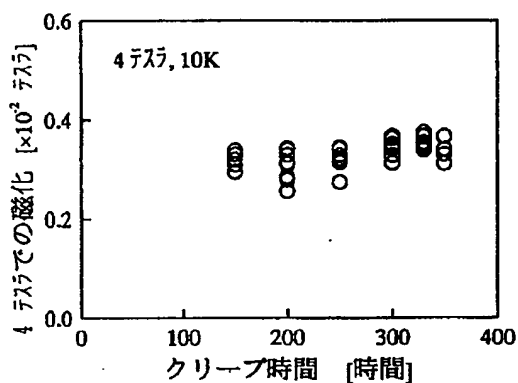
【図8】



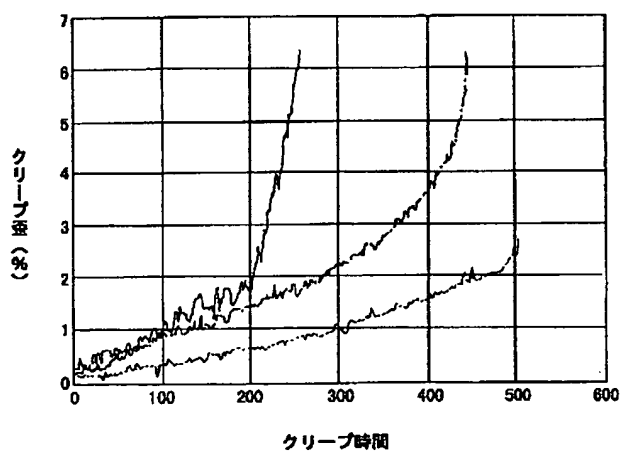
【図10】



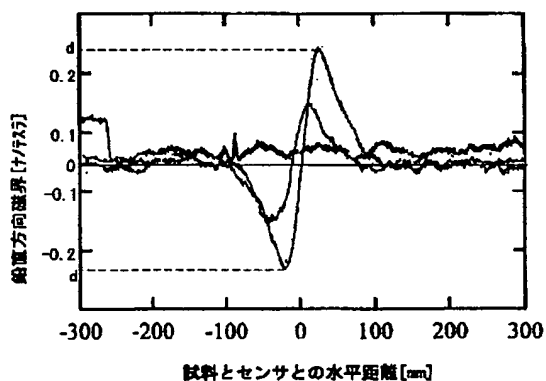
【図9】



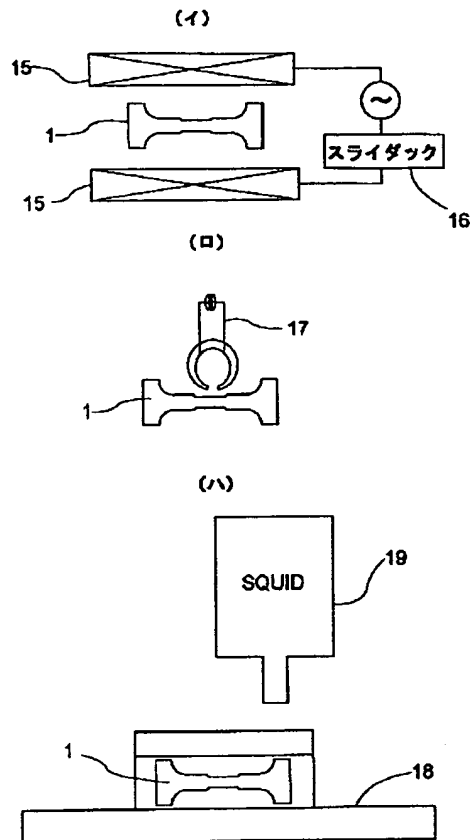
【図12】



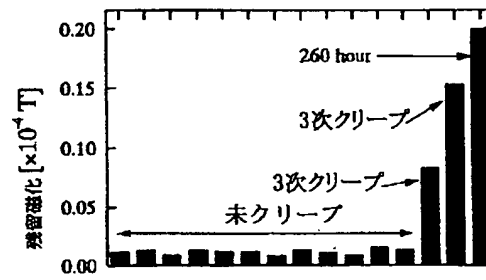
【図11】



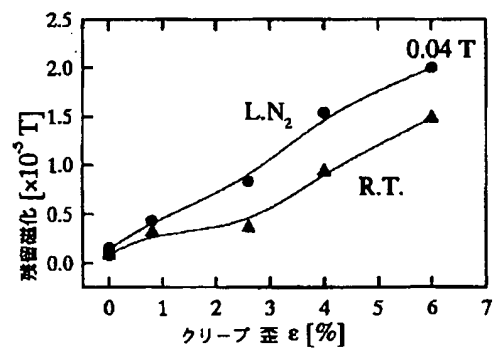
【図13】



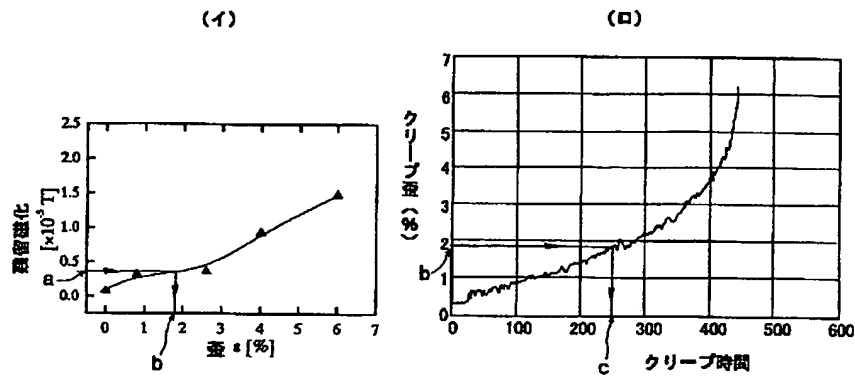
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 田村 逸朗  
京都府京都市下京区中堂寺南町17 株式会  
社関西新技術研究所内

(72)発明者 藤田 智  
京都府京都市下京区中堂寺南町17 株式会  
社関西新技術研究所内

(72)発明者 長島 健  
京都府京都市下京区中堂寺南町17 株式会  
社関西新技術研究所内

Fターム(参考) 2G017 AA02 AD32  
2G053 AA14 AB03 AB04 AB05 AB06  
BA02 BA11 BA24 BB17 CA03  
CA11